

明 細 書

半導体レーザとその製造方法

技術分野

- [0001] 本発明は半導体レーザとその製造方法に関し、特に選択成長により導波路を形成した半導体レーザとその製造方法に関する。

背景技術

- [0002] 量子井戸活性層に歪を導入して価電子帯構造を変形させることにより、レーザ特性が向上することが知られている。しかし、臨界歪量を超えて歪を導入すると歪の緩和により転位が発生し、半導体レーザの信頼性を低下させてしまう。そのため、バリア層に井戸層と逆方向の歪を導入し、平均歪量が臨界歪量を超えないようにする歪補償型量子井戸構造が提案されている。歪補償型量子井戸構造では、平均歪量がほぼゼロに近いところで量子井戸の光学的特性や半導体レーザの特性が良好であることが非特許文献1や非特許文献2、非特許文献3に報告されている。

- [0003] 尚、ここで、平均歪量 ε (average) は下式のように定義する。

[数1]

$$\varepsilon \text{ (average)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n=j+k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする。

- [0004] 一方、全選択MOVPE (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 成長による半導体レーザ (ASM-LD: All Selective MOVPE grown Laser Diode) は、エッチングプロセス不要で埋め込みヘテロ構造 (BH: Buried Heterostructure) が作製できるという特徴を持つ。

- [0005] 図8に非特許文献4に記載されているASM-LDの構造図を示す。(001)面を成

長面とするn型InP基板1上に歪多重量子井戸活性層3aを含むダブルヘテロメサストライプ6(以降、DHメサストライプと呼ぶ)が形成され、p型InP電流ブロック層7、n型InP電流ブロック層8で埋め込まれている。また、その上にp型InPクラッド層9、p型InGaAsコンタクト層10が形成されている。そして、DHメサストライプ6の両側の所定位置に寄生容量低減を図るために、DHメサストライプ6を含むリッジ部領域とその両側領域とに分けるn型InP基板1に達する2本の溝が形成されている。そして、下面にはn型電極11が、上面には絶縁膜に設けた開口部を通して接続されたp型電極12が、それぞれ形成されている。

[0006] 次に、図9に製造工程を示す。まず、(001)面を成長面とするn型InP基板1上に[110]方向に沿って2本のストライプ状の酸化シリコンマスク13(マスク幅 $5\mu\text{m}$)を形成する。ここで、この2本の酸化シリコンマスク13が選択成長における成長阻止マスクとなるために、2本の酸化シリコンマスク13で挟まれた狭幅部14および、2本の酸化シリコンマスク13の両外側の広幅部15とが選択成長可能な領域となる(図9(a))。

[0007] そして、この狭幅部14に選択MOVPE成長によりn型InPバッファ層18、歪多重量子井戸活性層3a、p型InPキャップ層5で構成される第1の半導体積層体としてのDHメサストライプ6を作製する。尚、この選択MOVPE成長の際に同時に広幅部15にも第2の半導体積層体としての再結合層16が形成される(図9(b))。

[0008] 次に、セルフアラインプロセスでDHメサストライプ6のトップのみに新たな酸化シリコンマスク17を形成し(図9(c))、それを成長阻止マスクとしてp型InP電流ブロック層7、n型InP電流ブロック層8を選択成長する(図9(d))。そして、酸化シリコンマスク17を除去した後、p型InPクラッド層9とp型InGaAsコンタクト層10を結晶成長させる(図9(e))。その後、n型InP基板に達する2本の溝を形成し、下面のn型電極および、上面のp型電極を形成するなどして半導体レーザが完成する。

[0009] 非特許文献1:第11回インジウム・リンとそれに関連する材料の国際会議 技術要約書47頁、MoB1-2、1999年5月16日

非特許文献2:エレクトロニクス・レターズ 第27巻、第14号、1991年、1268-1270頁

非特許文献3:アプライド・フィジックス・レターズ 第58巻、1991年、1952-1954

頁

非特許文献4:電子材料 1999年、11月号、32〜36頁

非特許文献5:ジャーナル・オブ・エレクトロニック・マテリアルズ 第25巻、第3号、1996年、401〜406頁

非特許文献6:アイ・イー・イー・イー・ジャーナル・オブ・カンタム・エレクトロニクス 第35巻、1999年、771〜782頁

非特許文献7:ジャーナル・クリスタル・グロウス 第27巻、1974年、118〜125頁

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] ASM-LDでは隣接する半導体レーザ素子部との間隔を例えば $500\mu\text{m}$ 程度にした場合、図10に示すように一対の酸化シリコンマスク13の両外側に幅 $490\mu\text{m}$ 程度の広幅部15が形成される。このため、狭幅部14に量子井戸活性層を含む第1の半導体積層体としてのDHメサストライプを選択成長させる際に、同時にこの広幅部15にもDHメサストライプとは組成、厚さの異なる第2の半導体積層体としての再結合層が形成されることになる。この部分は、図9(e)に示すようにInPのpnpnのサイリスタ構造で構成される電流ブロック層にInPよりバンドギャップの小さい再結合層16を挿入した形になっており、pnpnサイリスタのゲート電流として作用するキャリアをこの層において再結合させることによりサイリスタを構成するnpnトランジスタの電流利得を低減している。その結果、サイリスタのターンオン動作が抑制され、電流ブロック特性が向上する。

[0011] しかし、狭幅部に選択成長させるDHメサストライプ6をその平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ が無歪($\epsilon_1(\text{average})=0$)になるように成長させると、広幅部に形成される再結合層16の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ が引張歪($\epsilon_2(\text{average})<0$)となり、各成長層の厚さや組成などによっては平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ が臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ を超えてしまう。その結果、再結合層16で格子緩和による転位が発生し、リーク電流の増加によるレーザ特性の悪化や転位が量子井戸活性層3aに伸長して信頼性の低下をもたらす懸念があった。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の半導体レーザは、半導体基板上に、選択成長で形成された少なくとも量子井戸活性層を含む第1の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプと、前記選択成長の際に前記ダブルヘテロメサストライプの両側に一定距離だけ離間して同時に形成された第2の半導体積層体としての再結合層とを有する半導体レーザにおいて、

平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical)を下式のように定義した場合、

[数2]

$$\varepsilon \text{ (average)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

但し、歪を有する半導体層の数をj個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数をk個として、n個 ($n=j+k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、i番目の半導体層の歪量を ε_i 、i番目の半導体層の厚さを d_i とする

[数3]

$$\varepsilon \text{ (critical)} = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right\}$$

但し、

b:バーガーズベクトル、

p:ポアソン比、

α :バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ :滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角

ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ε_1 (average)は臨界歪量 ε_1 (critical)以下の圧縮歪 (ε_1 (critical) $\geq \varepsilon_1$ (average) > 0) で、且つ、

前記再結合層の平均歪量 ε_2 (average)は臨界歪量 ε_2 (critical)以下の引張り歪 ($-\varepsilon_2$ (critical) $\leq \varepsilon_2$ (average) < 0) または無歪 (ε_2 (average) $= 0$) であることを特徴とする半導体レーザである。

[0013] なお、上に示した臨界歪量の定義式は、非特許文献7に記載されている。

[0014] また、本発明の半導体レーザの製造方法は、半導体基板上に一对のストライプ状の誘電体マスクを形成し、前記誘電体マスクで挟まれた狭幅部に活性層を含む第1の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプを形成すると同時に、前記誘電体マスクの両外側の広幅部に第2の半導体積層体としての再結合層を形成する工程を含む半導体レーザの製造方法において、

平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical)を下式のように定義した場合、

[数4]

$$\varepsilon \text{ (average)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

但し、歪を有する半導体層の数をj個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数をk個として、n個 ($n=j+k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、i番目の半導体層の歪量を ε_i 、i番目の半導体層の厚さを d_i とする

[数5]

$$\varepsilon \text{ (critical)} = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right\}$$

但し、

b: バーガーズベクトル、

p: ポアソン比、

α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ε_1 (average) は臨界歪量 ε_1 (critical)

以下の圧縮歪 (ε_1 (critical) $\geq \varepsilon_1$ (average) > 0) で、且つ、前記再結合層の平均歪

量 ε_2 (average) は臨界歪量 ε_2 (critical) 以下の引張り歪 ($-\varepsilon_2$ (critical) $\leq \varepsilon_2$

(average) < 0) または無歪 (ε_2 (average) $= 0$) であることを特徴とする半導体レーザの

製造方法である。

[0015] (作用)

図11は非特許文献5に記載されている選択成長のメカニズムを示す概略図である。

[0016] Al、Ga、Inを含む半導体層を選択成長した場合、狭幅部14は(1)縦方向の気相拡散、(2)横方向の気相拡散、(3)誘電体マスク13表面からのマイグレーション、の3つのパスから成長種が供給されて組成、厚さが決定される。一方、広幅部15は主に(1)縦方向の気相拡散で成長種が供給される。そして、Al、Ga成長種の拡散長に比べてIn成長種の拡散長が短いために、狭幅部14の成長層が広幅部15の成長層に比べてIn過剰になり、また、層厚も厚くなる($d > d_0$)。従って、狭幅部に成長させるDHメサストライプ6をその平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ が無歪 ($\epsilon_1(\text{average}) = 0$) になるように成長させると広幅部15に成長させた再結合層16の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ はIn組成が小さくなり引張歪 ($\epsilon_2(\text{average}) < 0$) となる。そして、成長条件によっては再結合層16の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ が臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ を超えてしまい ($-\epsilon_2(\text{critical}) > \epsilon_2(\text{average})$)、格子緩和が起こる。このため、DHメサストライプ6の平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ を臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ 以内に圧縮歪側にずらすことにより、再結合層16の引張歪を低減することができる。その結果、広幅部の再結合層16の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ を臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ 以内に抑えることができ、格子緩和による転位の発生を抑制できる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ を臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ 以内に圧縮歪側にずらすことにより、ダブルヘテロメサストライプを選択成長で形成する際に、その両側に一定距離だけ離間して同時に形成される再結合層の引張歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ を臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ 以内に低減できる。その結果、再結合層の格子緩和を抑制し、リーク電流が抑制された信頼性の高い半導体レーザを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の第1の実施形態である半導体レーザの断面構造図

[図2]本発明の第1の実施形態である半導体レーザの製造方法を示す工程図

[図3]本発明の第1の実施形態について、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

[図4]DHメサストライプの平均歪量をゼロにした半導体レーザにおいて、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

[図5]本発明の第2の実施形態である半導体レーザの断面構造図

[図6]本発明の第2の実施形態について、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

[図7]DHメサストライプと再結合層における平均歪量の誘電体マスク幅(狭幅部と広幅部の距離)依存性を示す計算結果

[図8]非特許文献4に記載されているASM-LDの断面構造図

[図9]非特許文献4に記載されているASM-LDの製造方法を示す工程図

[図10]狭幅部と広幅部の関係を示す概略図

[図11]非特許文献5に記載されている選択成長のメカニズムを示す概略図

発明を実施するための最良の形態

[0019] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態である半導体レーザの断面構造である。

[0020] n型InP(001)基板1(キャリア濃度 $n=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)上にn型AlGaInAs光閉じ込め層2(厚さ $d=40 \text{ nm}$ 、無歪、 $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、ウェル層($d=6 \text{ nm}$ 、歪量 $\epsilon=+1.4\%$ 、ウェル数 $N_w=10$)、バリア層($d=10 \text{ nm}$ 、 $\epsilon=-0.6\%$ 、バリア数 $N_b=9$)がAlGaInAs層である歪補償型多重量子井戸活性層3、p型AlGaInAs光閉じ込め層4($d=40 \text{ nm}$ 、無歪、キャリア濃度 $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型InPキャップ層5($d=300 \text{ nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)で構成される第1の半導体積層体としてのダブルヘテロ(Double Hetero)メサストライプ6(以降、DHメサストライプと呼ぶ)が形成され、p型InP電流ブロック層7($d=600 \text{ nm}$ 、 $p=5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)、n型InP電流ブロック層8($d=600 \text{ nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)で埋め込まれている。そして、その上にp型InPクラッド層9($d=1600 \text{ nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型InGaAsコンタクト層10($d=300 \text{ nm}$ 、無

歪、 $p=1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) が形成され、更に下面にn側電極11、上面にp側電極12がそれぞれ形成されている。また、DHメサストライプ6の両側には一定距離だけ離間して第2の半導体積層体として再結合層16が形成されている。

[0021] 次に、図2に製造工程を示す。

[0022] 結晶成長はMOVPE法を使い、原料としては、トリメチルアルミニウム(TMAI)、トリメチルガリウム(TMGa)、トリメチルインジウム(TMIn)、アルシン(AsH_3)、ホスフィン(PH_3)を用いる。また、n型とp型のドーピング原料としては、ジシラン(Si_2H_6)とジメチル亜鉛(DMZn)をそれぞれ用いる。キャリアガスは水素で、成長圧力は100hPaで行う。

[0023] まず、(001)面を成長面とするn型InP基板1上に厚さ100nmの酸化シリコン膜を熱CVDで堆積する。そして、一般的なフォトリソグラフィ技術を使って幅 $5 \mu\text{m}$ 、狭幅部14の開口幅 $1.6 \mu\text{m}$ からなる一対のストライプ状の酸化シリコンマスク13に加工する。ここで、この2本の酸化シリコンマスク13が選択成長における成長阻止マスクとなるため、2本の酸化シリコンマスク13で挟まれた狭幅部14および、2本の酸化シリコンマスク13の両外側の広幅部15とが選択成長可能な領域となる(図2(a))。ストライプの方向は[110]方向である。尚、隣接する半導体レーザの素子間隔(隣接する狭幅部間の間隔)(図示せず)を $500 \mu\text{m}$ に設定したので、広幅部1の幅は約 $488 \mu\text{m}$ となる。

[0024] 次にそのn型InP基板1をMOVPE装置(図示せず)にセットし、n型AlGaInAs光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側AlGaInAs光閉じ込め層4、p型InPキャップ層5で構成されるDHメサストライプ6を選択成長で形成する。

[0025] このとき、(111)B面におけるp型InPキャップ層5の成長速度を促進することにより、n型AlGaInAs光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側AlGaInAs光閉じ込め層4の(111)B面がp型InP層5でカバーされ、その後のプロセスで基板を大気にさらしても、Alを含んだ層が酸化されることを抑制している。

[0026] 尚、この選択MOVPE成長の際に同時に広幅部15にも狭幅部14に成長したn型AlGaInAs光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側AlGaInAs光閉じ込め層4、p型InPキャップ層5に対応した半導体積層体としての再結合層16が成

長するが、各成長層の組成および、厚さは異なる(図2(b))。

[0027] その後、MOVPE装置(図示せず)から取り出し、セルフアラインプロセスによりメサトップのみに酸化シリコンマスク17を形成する(図2(c))。

[0028] 次に、再度MOVPE装置(図示せず)にセットし、p型InP電流ブロック層7、n型InP電流ブロック層8を選択成長で形成する(図2(d))。その後、MOVPE装置(図示せず)から取り出して酸化シリコンマスクを除去後、3回目のMOVPE成長でp型InPクラッド層9、p型InGaAsコンタクト層10を成長し、その後、n型InP基板1の研磨、n側電極11とp側電極12の形成をそれぞれ行い、図1で示したような半導体レーザを作製することができる。

[0029] 第1の実施形態の特徴は、DHメサストライプ6の平均歪量 ϵ_1 (average)を臨界歪量 ϵ_1 (critical)以内に圧縮歪み側にずらすことにより広幅部の再結合層16の引張歪量 ϵ_2 (average)を低減し、格子緩和を抑制している。その結果を図3、図4に示す。

[0030] 図3、図4は歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプ6と再結合層16について示した計算結果である。黒丸で示した点が各半導体層を順次成長した後の平均歪量(%)と累積の成長層厚(nm)であり、歪を有する成長層の第1層目から順に歪を有する最終成長層までの成長した結果を示してある。

[0031] 第1の実施形態の場合、DHメサストライプ6では、井戸層とバリア層が歪を有する成長層であり、再結合層16では、光閉じ込め層2、4、井戸層、バリア層に相当する半導体層が歪を有する成長層である。参考のために臨界歪量と臨界膜厚の関係も実線で示した。歪を有する最終層まで成長した時に平均歪量と累積の成長層厚で示される黒丸が実線の上側にある場合、その成長層は歪量・膜厚の臨界値を超えていることを示しており、歪の緩和により転位が発生する可能性がある。図3は、第1の実施形態で示した本発明の構造の計算結果であり、図4は、第1の実施形態で示した本発明の構造において、バリア層の歪量を-0.93%として非特許文献1乃至3で示されたようにDHメサストライプでの平均歪量 ϵ_1 (average)をほぼ無歪 (ϵ_1 (average) = 0)にした構造の計算結果である。ここで、図4に示したようにDHメサストライプの平均歪量 ϵ_1 (average)をほぼ無歪 (ϵ_1 (average) = 0)にした場合では、再結合層の平均歪量 ϵ_2 (average)は引張歪側の臨界歪量を越えてしまっており、格子緩和による

転位の発生が懸念される。しかし、これに対して、図3(本発明の構造)では、DHメサストライプでの平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ が圧縮歪み側にシフトしており、それに伴って、再結合層の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ が減少している(図中右にシフトしている)。その結果、DHメサストライプの平均歪量 $\epsilon_1(\text{average})$ と再結合層の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ の両方共が臨界歪量以下におさまるようになっていくことがわかる。

[0032] 尚、歪の制御は、原料の供給量を変えることにより行うことができる。

実施形態1で用いたAlGaInAs層の場合、TMInの供給量を増やすかまたはTMAl、TEGaの供給量を減らして成長層のIn組成を増やすことにより圧縮歪をかけることができる。逆に、TMInの供給量を減らすかまたはTMAl、TEGaの供給量を増やして成長層のIn組成を減らすことにより引張り歪をかけることができる。しかしながら、単純にIn組成だけを変化させてしまうと歪量と共にバンドギャップも変化してしまう。量子井戸活性層のウェルの場合、バンドギャップが変化してレーザの発振波長が変わってしまう。従って、In組成を変化させて歪量を変えると共にAlまたはGaの組成も変化させ、バンドギャップが変わらないようにする必要がある。

その一例として、下表に非特許文献6に記載されているAlGaInAsバンドギャップの組成依存性と2元半導体の格子定数から計算した波長1 μm のAlGaInAsで、無歪と-0.6%引張り歪の場合の組成を示す。

[表1]

無歪と-0.6%引張り歪を有する波長1 μm のAlGaInAs層の組成

| $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{As}$ | Al組成:X | Ga組成:Y | In組成:Z |
|--|--------|--------|--------|
| 無歪、波長1 μm | 0.347 | 0.127 | 0.526 |
| -0.6%引張り歪、波長1 μm | 0.338 | 0.223 | 0.439 |

[0033] (第2の実施形態)

図5は、本発明の第2の実施形態による半導体レーザの断面構造である。

[0034] n型InP(001)基板1(キャリア濃度 $n=2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)上にn型AlGaInAs歪光閉じ込め層2a(厚さ $d=40 \text{nm}$ 、歪量 $\epsilon = +0.31\%$ 、 $n=1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、ウェル層($d=6 \text{nm}$ 、 $\epsilon = +1.4\%$ 、ウェル数 $N_w=10$)および、バリア層($d=10 \text{nm}$ 、 $\epsilon = -0.93\%$ 、バリア数 $N_b=9$)がAlGaInAs層である歪補償型多重量子井戸活性層3、p型Al

GaInAs歪光閉じ込め層4a($d=40\text{nm}$ 、 $\varepsilon = +0.31\%$ 、キャリア濃度 $p=1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、p型InPキャップ層5($d=300\text{nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)で構成される第1の半導体積層体としてのDHメサストライプ6が形成され、p型InP電流ブロック層7($d=600\text{nm}$ 、 $p=5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)、n型InP電流ブロック層8($d=600\text{nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)で埋め込まれている。そして、p型InPクラッド層9($d=1600\text{nm}$ 、 $p=1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、p型InGaAsコンタクト層10($d=300\text{nm}$ 、無歪、 $p=1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)が形成され、更に下面にn側電極11、上面にp側電極12がそれぞれ形成されている。また、DHストライプ6の両側に離間して第2の半導体積層体としての再結合層16が形成されている。

[0035] ここで、第1の実施形態との違いは、バリア層の歪量を -0.6% から -0.93% に増加させた点と、光閉じ込め層2a、4aの歪量を無歪から $+0.31\%$ の圧縮歪に変更した点である。このように、バリア層の引張歪量を増加させることで歪補償型量子井戸活性層3の平均歪量をほぼゼロとし、光閉じ込め層2a、4aに圧縮歪を新たに加えることにて、DHメサストライプ6の平均歪量 $\varepsilon_1(\text{average})$ と再結合層16の平均歪量 $\varepsilon_2(\text{average})$ を臨界歪量以下に抑制している。

[0036] 図6は、第2の実施形態について歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと再結合層について示した計算結果である。第2の実施形態の場合、DHメサストライプ6では、光閉じ込め層2a、4aと、井戸層およびバリア層が歪を有する成長層であり、再結合層では、DHメサストライプ6の光閉じ込め層2a、4aと、井戸層およびバリア層に相当する半導体層が歪を有する成長層である。

[0037] 図6に示すように、DHメサストライプの平均歪量 $\varepsilon_1(\text{average})$ と再結合層16の平均歪量 $\varepsilon_2(\text{average})$ とは、光閉じ込め層にくわえた圧縮歪により、図4に比べて共に圧縮歪側にシフトし、その結果、共に臨界歪量以下になっていることがわかる。

[0038] 図7にDHメサストライプと再結合層における平均歪量の誘電体マスクの幅(狭幅部と広幅部の距離)への依存性を示す。DHメサストライプの光閉じ込め層、歪補償型量子井戸活性層は、マスク幅を変えても同じ歪量、厚さになるように成長条件を調整した。活性層の構造としては、ウェル層が厚さ 4nm で $+1.4\%$ の圧縮歪、井戸数が7、バリア層が厚さ 8nm で -0.2% の引張歪である。この構造は、平均歪量が 0.389

%で臨界歪の0.414%に近い値である。また、AlGaInAs光閉じ込め層は20nmである。

[0039] 図7に示すように、マスク幅が広くなるのに伴い、再結合層の平均歪量が引張歪側にシフトする。その結果、マスク幅が15 μ mを超えると再結合層の平均歪量が臨界歪量を超えてしまい、格子緩和が懸念される。従って、選択成長に用いる誘電体のマスク幅としては、0より大きく15 μ m以下に設定することが望ましい。

[0040] 以下に、図7の結果を詳細に説明する。同一成長条件で成長を行った場合、狭幅部14に成長するAlGaInAs層(光閉じ込め層、ウェル層、バリア層)はマスク幅が増加するのに伴いIn組成が増加し、圧縮歪量が増加する。これは、図10で示した(2)横方向の気相拡散と(3)誘電体マスク表面からの成長種のマイグレーション、で供給されるIn成長種の増加率がAlやGa成長種の増加率に比べて大きいためである。一方、広幅部15に成長する再結合層16は、(1)縦方向の気相拡散で成長種が供給されるために、成長条件が同じであればマスク幅に依存せず同じ成長層が積層される。従って、狭幅部14に成長するDHストライプの歪量をマスク幅に依存せず一定にするためには、マスク幅が広くなるのに伴い成長条件を調整することにより再結合層16の歪量を引張り歪側に設定する必要がある。その結果、図7のような関係になる。

[0041] 尚、図7でマスク幅が4 μ m以下の領域では再結合層も圧縮歪みが印加される。これは、成長するDHメサストライプの構造に依存するが、DHメサストライプの圧縮歪み量以下で且つ臨界歪量以下なので問題にならない。

[0042] また、本発明はAlInAsやAlGaInAsなどAlとInを含む成長系で特に有効になる。これは、図10で示した成長メカニズムにおいて、(2)横方向の気相拡散と(3)誘電体マスク表面からの成長種のマイグレーションで供給されるIn成長種の増加率とAl成長種の増加率の差が特に大きいためである。

符号の説明

- [0043] 1・・・n型InP基板
2・・・n型AlGaInAs光閉じ込め層
2a・・・n型AlGaInAs歪光閉じ込め層
3・・・歪補償型歪多重量子井戸活性層

- 3a...歪多重量子井戸活性層
- 4...p型AlGaInAs光閉じ込め層
- 4a...p型AlGaInAs歪光閉じ込め層
- 5...p型InPキャップ層
- 6...DHメサストライプ
- 7...p型InP電流ブロック層
- 8...n型InP電流ブロック層
- 9...p型InPクラッド層
- 10...p型InGaAsコンタクト層
- 11...n側電極
- 12...p側電極
- 13...酸化シリコンマスク
- 14...狭幅部
- 15...広幅部
- 16...再結合層
- 17...酸化シリコンマスク

請求の範囲

- [1] 半導体基板上に、選択成長で形成された少なくとも量子井戸活性層を含む第1の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプと、前記選択成長の際に前記ダブルヘテロメサストライプの両側に一定距離だけ離間して同時に形成された第2の半導体積層体としての再結合層とを有する半導体レーザにおいて、

平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical)を下式のように定義した場合、

[数1]

$$\varepsilon \text{ (average)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

但し、歪を有する半導体層の数をj個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数をk個として、n個 ($n=j+k$)の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、i番目の半導体層の歪量を ε_i 、i番目の半導体層の厚さを d_i とする

[数2]

$$\varepsilon \text{ (critical)} = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right\}$$

但し、

b:バーガーズベクトル、

p:ポアソン比、

α :バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ :滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ε_1 (average)は臨界歪量 ε_1 (critical)以下の圧縮歪 (ε_1 (critical) $\geq \varepsilon_1$ (average) > 0)で、且つ、前記再結合層の平均歪量 ε_2 (average)は臨界歪量 ε_2 (critical)以下の引張り歪 ($-\varepsilon_2$ (critical) $\leq \varepsilon_2$ (average) < 0)または無歪 (ε_2 (average) $= 0$)であることを特徴とする半導体レーザ。

- [2] 前記選択成長層に少なくとも光閉じ込め層と量子井戸活性層を含むことを特徴とす

る請求項1に記載の半導体レーザ。

- [3] 前記選択成長層にAlInAsまたはAlGaInAsが含まれていることを特徴とする請求項1、または、請求項2に記載の半導体レーザ。
- [4] 前記ダブルヘテロメサストライプと前記再結合層との間の距離が $15\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の半導体レーザ。
- [5] 半導体基板上に一对のストライプ状の誘電体マスクを形成し、前記誘電体マスクで挟まれた狭幅部に活性層を含む第1の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプを形成すると同時に、前記誘電体マスクの両外側の広幅部に第2の半導体積層体としての再結合層を形成する工程を含む半導体レーザの製造方法において、
平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical)を下式のように定義した場合、

[数3]

$$\varepsilon (\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個($n=j+k$)の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする

[数4]

$$\varepsilon (\text{critical}) = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{4d}{b}\right) + 1 \right\}$$

但し、

b : バーガーズベクトル、

p : ポアソン比、

α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

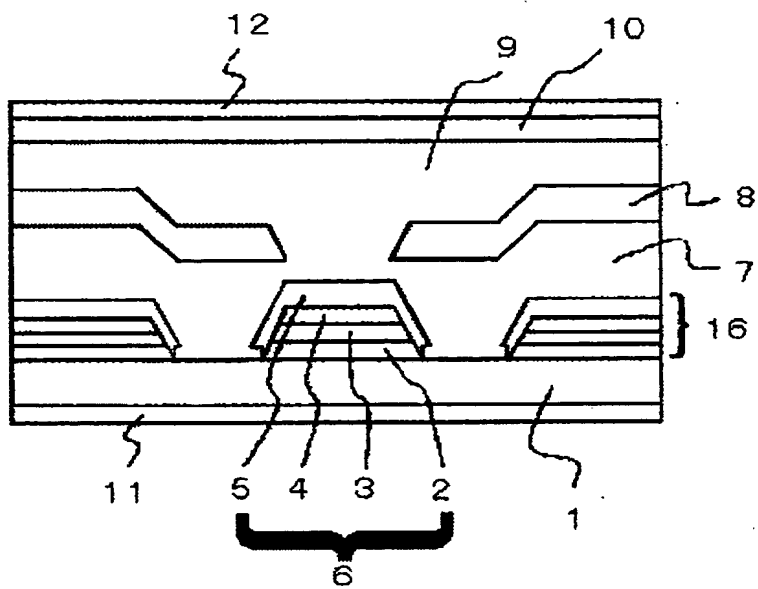
λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ε_1 (average)は臨界歪量 ε_1 (critical)

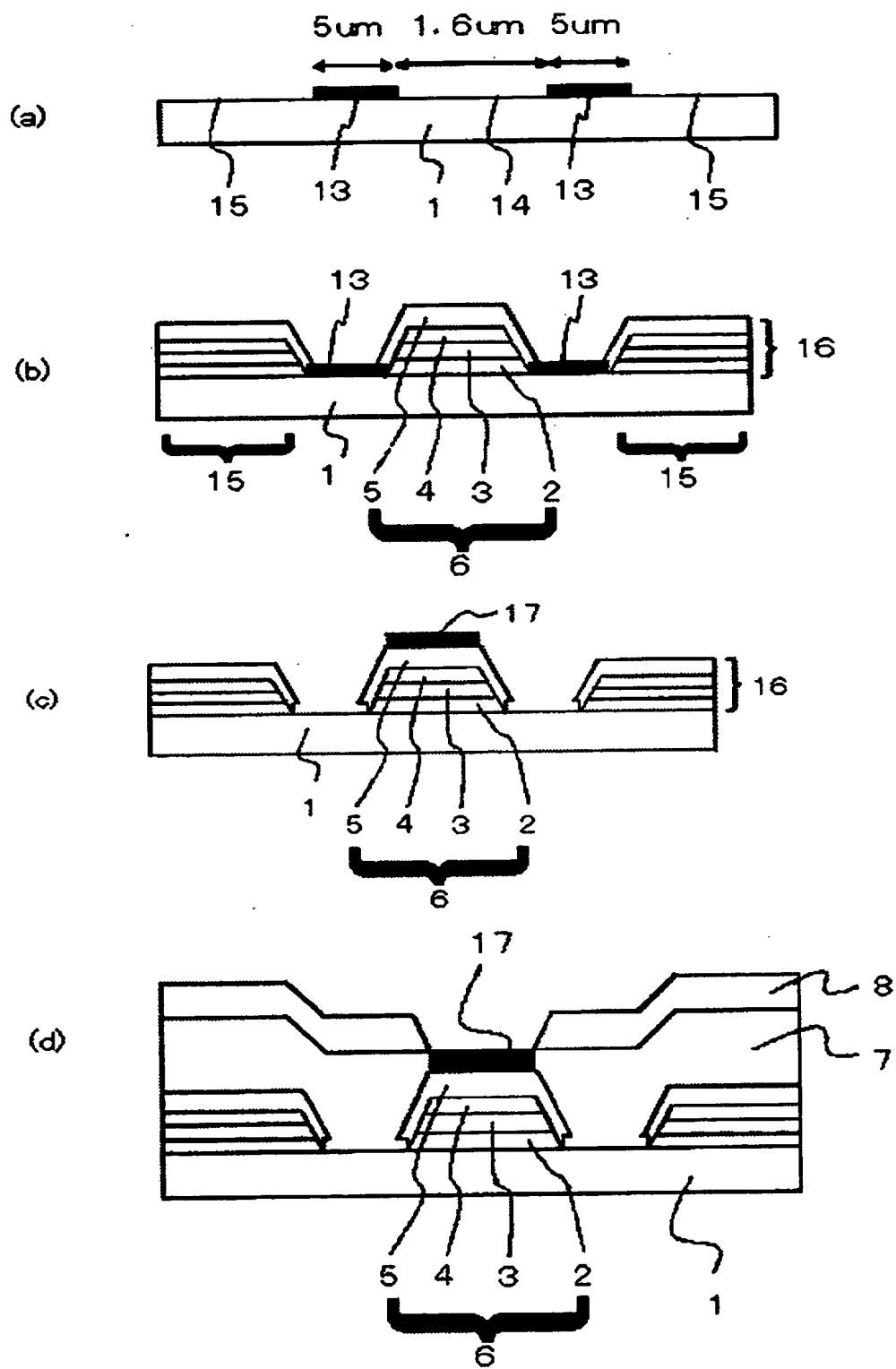
以下の圧縮歪 ($\epsilon_1(\text{critical}) \geq \epsilon_1(\text{average}) > 0$) で、且つ、前記再結合層の平均歪量 $\epsilon_2(\text{average})$ は臨界歪量 $\epsilon_2(\text{critical})$ 以下の引張り歪 ($-\epsilon_2(\text{critical}) \leq \epsilon_2(\text{average}) < 0$) または無歪 ($\epsilon_2(\text{average}) = 0$) であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

- [6] 前記選択成長層に少なくとも光閉じ込め層と量子井戸活性層を含むことを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザの製造方法。
- [7] 前記選択成長層にAlInAsまたはAlGaInAsが含まれていることを特徴とする請求項5、または、請求項6に記載の半導体レーザの製造方法。
- [8] 前記ダブルヘテロメサストライプと前記再結合層との間の距離が0より大きく15 μm 以下であることを特徴とする請求項5から7のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法。

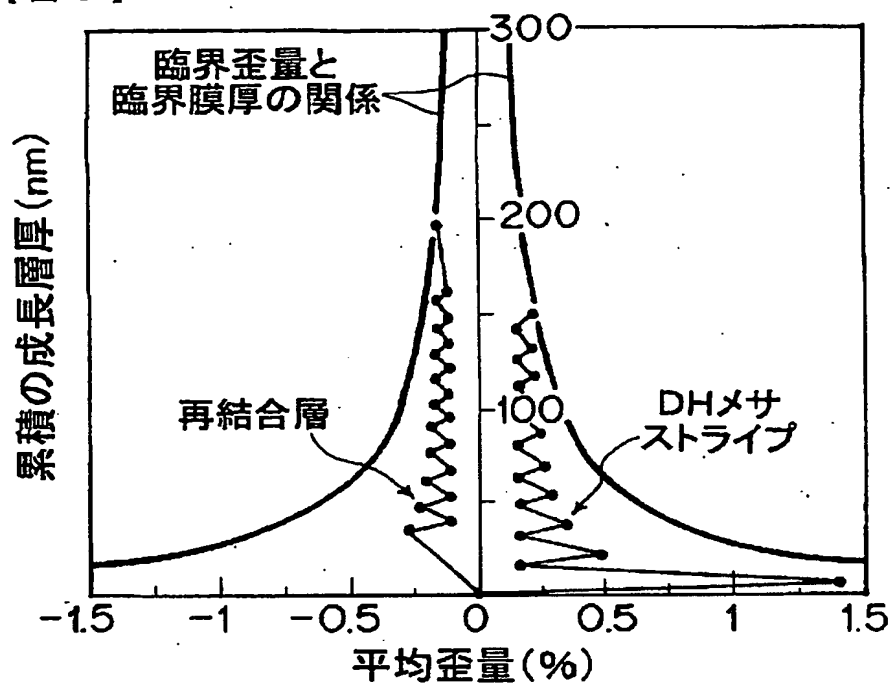
[図1]



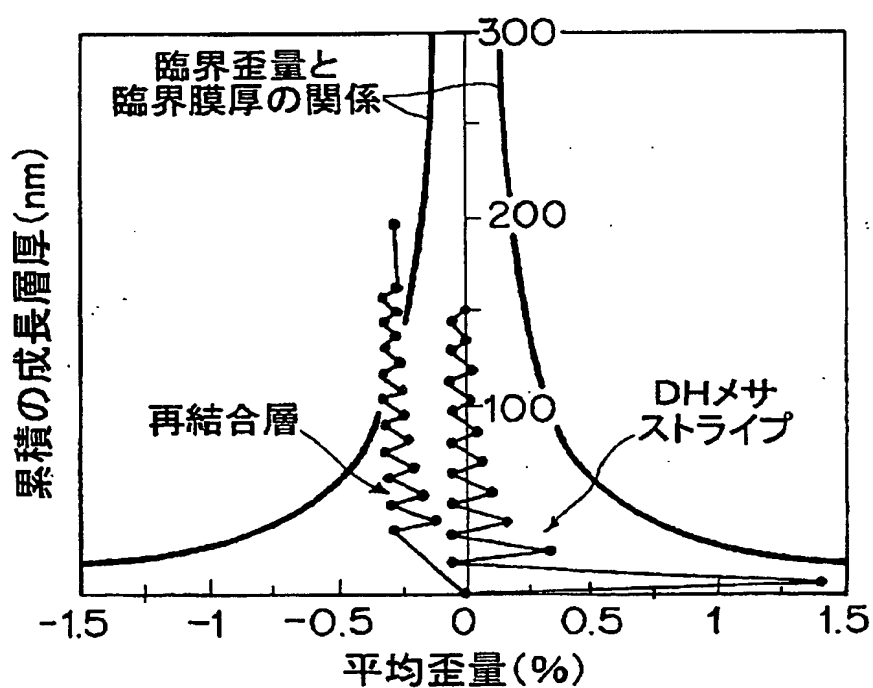
[図2]



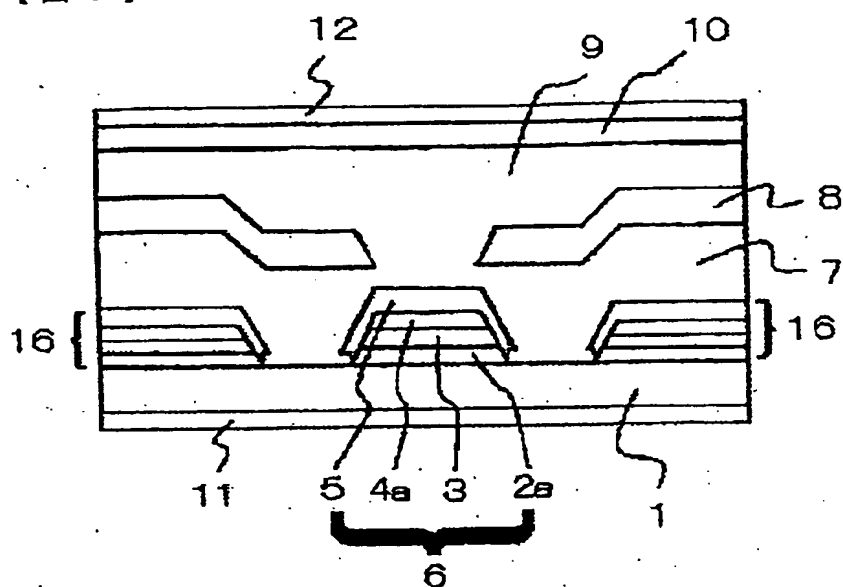
【図 3】



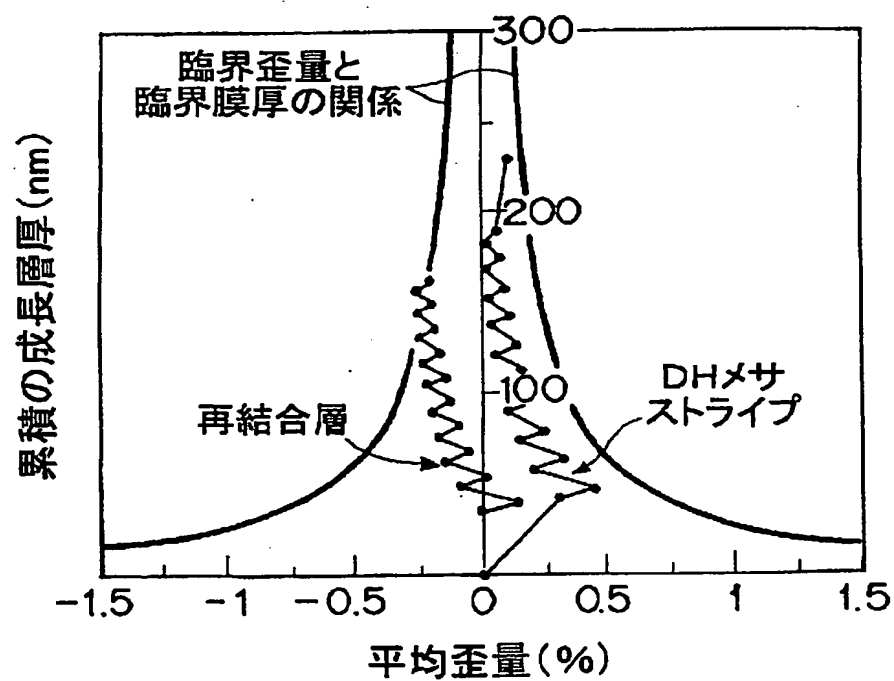
【図 4】



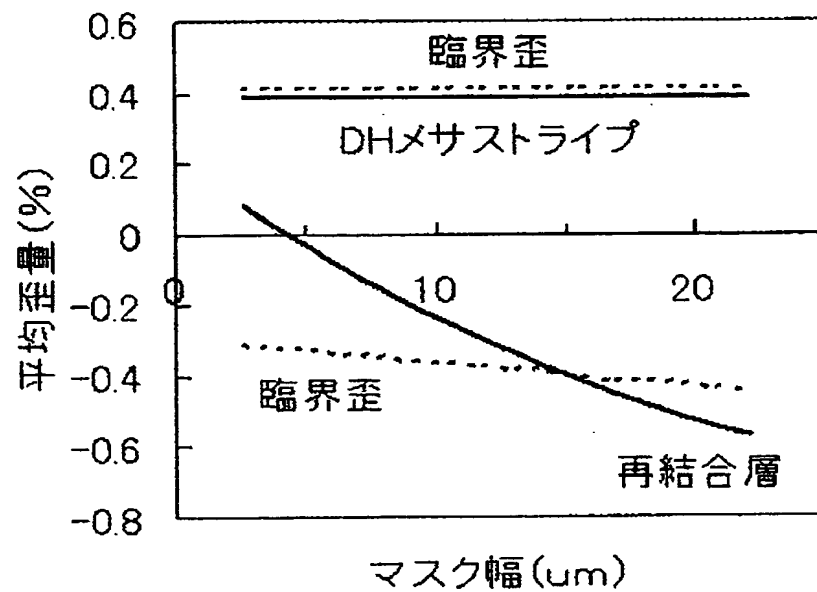
【図 5】



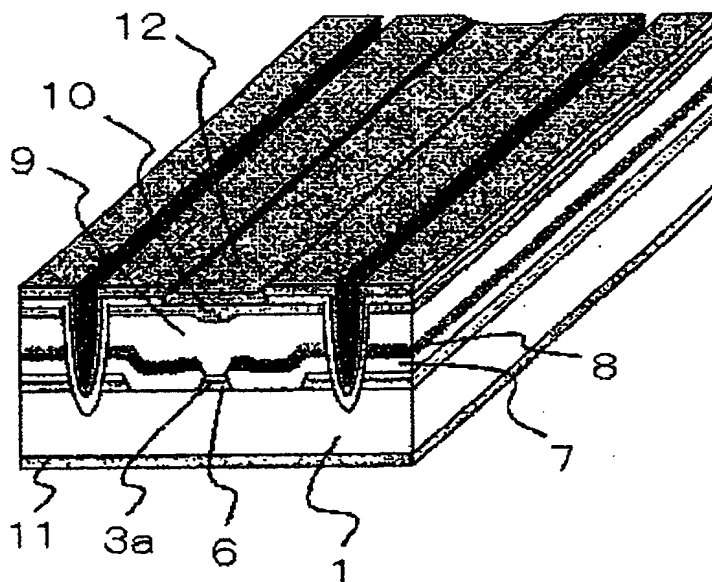
【図 6】



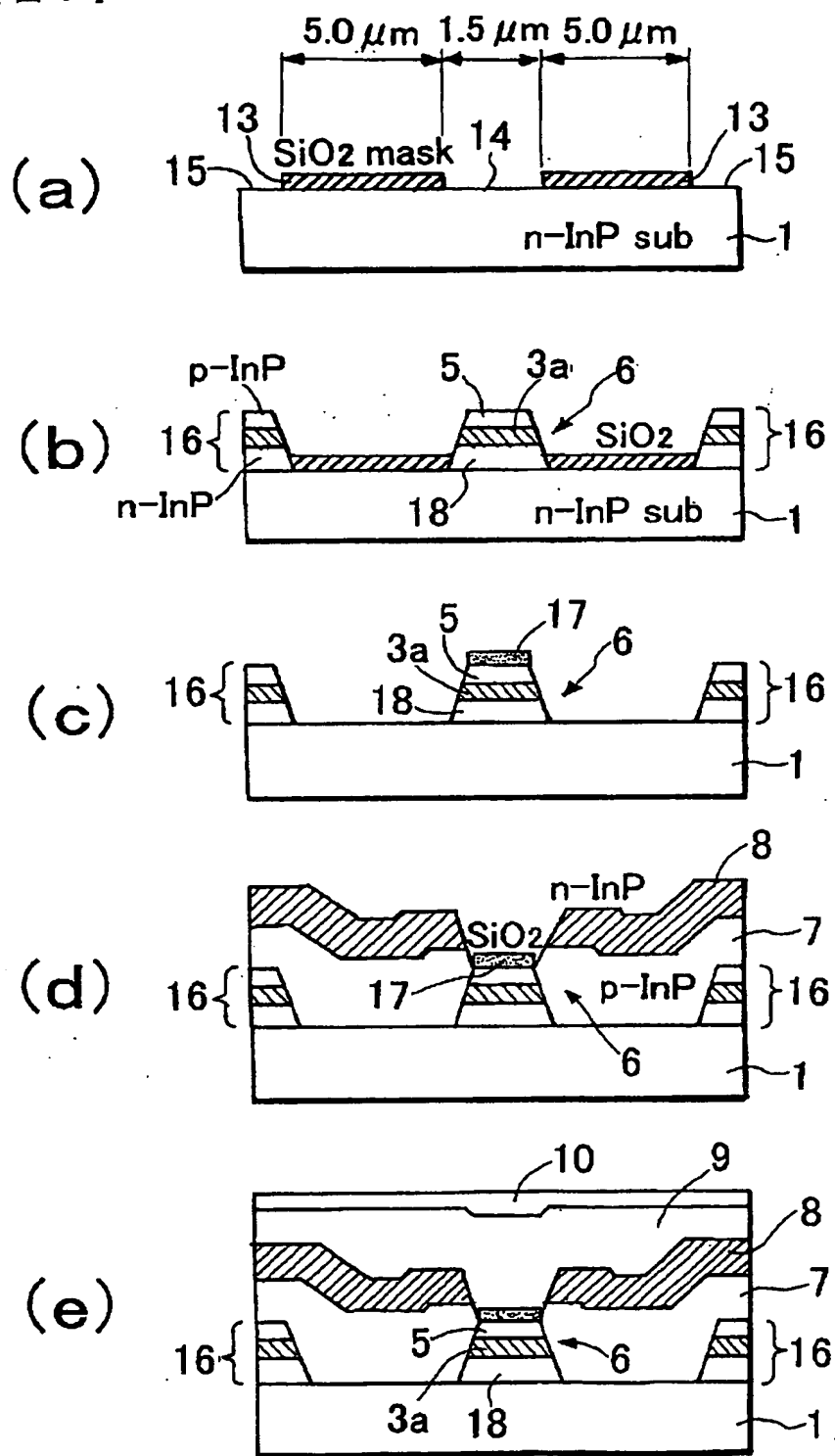
[図7]



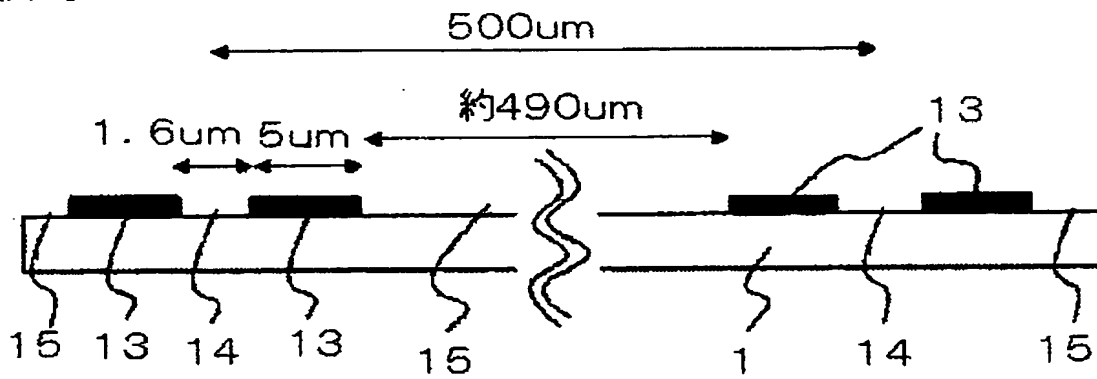
[図8]



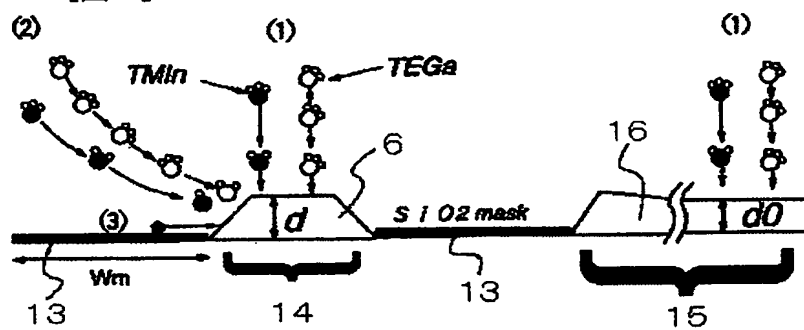
【図 9】



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017576

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S5/227

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST(JOIS), IEEE/IEE, Electronic Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | US 6337870 B1 (NEC CORP.), 08 January, 2002 (08.01.02), Column 6, line 49 to column 7, line 6; Figs. 6 to 7 & JP 11-121858 A & US 2002-0075927 A1 & EP 911929 A2 & CN 1215239 A & TW 406441 B | 1-8 |
| A | SAKATA, Y. et al., 'All-selective MOVPE-grown 1.3- μ m strained multi-quantum-well buried- heterostructure laser diodes', In: IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.35, 3rd issue, March 1999, pages 368 to 376 | 1-2, 4-6, 8 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

| | |
|---|---|
| <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> | <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> |
|---|---|

Date of the actual completion of the international search
24 February, 2005 (24.02.05)

Date of mailing of the international search report
15 March, 2005 (15.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017576

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | US 5671242 A (Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha), 23 September, 1997 (23.09.97), Claim 1 & JP 08-078786 A & GB 2293045 A1 & GB 9517881 A0 & DE 19531615 A | 1, 5 - |
| A | Wang, M.C. et al., 'Ultrahigh temperature and ultrahigh speed operation of 1.3 μ m strain- compensated AlGaInAs/InP uncooled laser diodes', In: Electronics Letters, Vol.31, 18th issue, 31 August, 1995 (31.08.95), pages 1584 to 1585 | 3, 7 |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S5/227

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

| | |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2004年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2004年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2004年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
JICST(JOIS), IEEE/IEE Electronic Library

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|------------------|
| A | US 6337870 B1 (NEC CORPORATION) 2002.01.08, Column 6 Line 49 - Column 7 Line 6, FIG.6-7 & JP 11-121858 A & US 2002-0075927 A1 & EP 911929 A2 & CN 12 15239 A & TW 406441 B | 1-8 |
| A | Sakata, Y. et al., 'All-selective MOVPE-grown 1.3- μ m strained multi-quantum-well buried-heterostructure laser diodes' In: IEEE Journal of Quantum Electronics, Volume: 35, Issue: 3, March 1999, Pages: 368 - 376 | 1-2, 4-6, 8 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.02.2005

国際調査報告の発送日

15.3.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

笹野 秀生

2 K

9 5 1 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| A | US 5671242 A (Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha) 1997.09.23, Claim 1 & JP 08-078786A & GB 2293045 A1 & GB 9517881 A0 & DE 1953161 5 A | 1, 5 |
| A | Wang, M.C. et al., 'Ultrahigh temperature and ultrahigh speed operation of 1.3 μ m strain-compensated AlGaInAs/InP uncooled laser diodes' In: Electronics Letters, Volume: 31, Issue : 18, 31 Aug 1995, Pages: 1584-1585 | 3, 7 |